

银川盆地西大滩隐伏断层晚第四纪活动特征^①

雷启云^{1,2}, 柴焱章², 王 银², 杜 鹏², 孟广魁²

(1. 中国地震局地质研究所, 北京 100029; 2. 宁夏回族自治区地震局, 宁夏银川 750001)

摘 要:西大滩隐伏断层位于银川盆地北部, 是石嘴山市活断层探测项目的目标断层之一。在浅层地震勘探的基础上, 通过钻孔联合剖面探测和钻孔样品年龄测试, 获得断层上断点埋深、主要标志层断距及沉积年龄等数据, 估算了晚第四纪不同时段断层的滑动速率, 结合地层变形情况探讨了该断层晚第四纪的活动特征。结果表明, 西大滩隐伏断层自 $12\ 275 \pm 45$ a B. P. 以来没有发生明显活动, 属晚更新世末活动断层; 晚更新世以来断层活动偏弱, 平均滑动速率为 0.024 mm/a; 除断层活动外, 伴随着地层倾斜变形; 两者均具间歇活动的特点, 最小间隔约 $6\ 600$ a, 最大间隔期 $12\ 275$ a。

关键词: 西大滩隐伏断层; 晚第四纪; 滑动速率; 钻孔联合剖面

中图分类号: P315.242

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2012)02-0186-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2012.02.0186

Activity Characteristics of Xidatan Buried Fault in Yinchuan Basin in Late Quaternary

LEI Qi-yun^{1,2}, ChAI Chi-zhang², WANG Yin², DU Peng², MENG Guang-kui²

(1. Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China;

2. Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China)

Abstract: The Xidatan buried fault is located in the north of Yinchuan basin and it is determined as one of buried faults in the active faults detection work of Shizuishan city. Based on the interpretation of seismic exploration for shallow layers, exploration of composite drilling section and core sample dating method are used to obtain some important data, such as depth of fault upper breaking point, displacements and ages of key mark layer. The slip rates of Xidatan fault in different period of late Quaternary are finally estimated. The change of dip angle of key mark layer are found, and then, activity characteristics of Xidatan buried fault are discussed. The result shows that, with the deformation of the key mark layer, Xidatan fault, which a low slip rate as 0.024 mm/a, was a active fault in late Pleistocene and it's activity stop after $12\ 275 \pm 45$ a B. P.. Not only offsets of the fault but also deformation of the key mark layer is characterized by intermittent activity. If considered these two changes as a whole, the minimum interval is $6\ 600$ a and the maximum is $12\ 275$ a.

Key words: Xidatan buried fault; Late Quaternary; Slip rate; Composite drilling section

0 引言

城市活断层探测的开展对防震减灾具有深远意义。确定隐伏断层的活动性是城市活断层探测的一个重要任务^[1-3]。但由于隐伏断层的隐蔽性, 只能通

过相应的勘探手段来开展相关研究^[4-5]。钻探是探测隐伏断层的有效手段, 除可以实现隐伏断层定位外, 还能对隐伏断层的晚第四纪活动性开展较深入

① 收稿日期: 2011-03-11

基金项目: 全国地震重点监视防御区活断层危险性评价项目 (1520930027); 地震行业专项 (201008003)

作者简介: 雷启云 (1981-), 男 (汉族), 宁夏西吉人, 工程师, 在读博士, 主要从事活动构造研究。

研究^[6-9]。

银川盆地是鄂尔多斯周缘新生代断陷盆地之一,新生界和第四系厚度分别可达 7 000 m 和 1 600 m,存在多条较大规模的断层^[10]。对盆地东西两条边界断层以及和内部较大规模的两条隐伏断层已开展过相关研究,对其活动特征有一定的认识^[6-7,10-18],但对盆地内其它隐伏活动断层尚研究很少。西大滩断层是银川盆地内级别较低的隐伏断层,位于盆地北部,展布于石嘴山市大武口区附近。该断层最早由石油地震勘探所揭示,曾命名为平罗西断层,但其具体位置和晚第四纪活动性一直未有

定论,也未曾开展相关工作。在我们实施石嘴山市活断层探测时,该断层作为目标区的一条主要隐伏断层而被确定为主要探测对象之一。在开展浅层地震勘探专题后,发现断层位置远远偏离平罗县城西,而分布于大武口区西大滩一六站一带,因此我们改之为西大滩隐伏断层。图 1 为浅层地震勘探所确定的西大滩隐伏断层在目标区内的展布。

本文在浅层地震勘探的基础上,选择代表性场点开展钻孔联合剖面探测,以着重研究该断层晚第四纪的活动特征,为石嘴山市防震减灾、城市规划及土地利用提供依据。

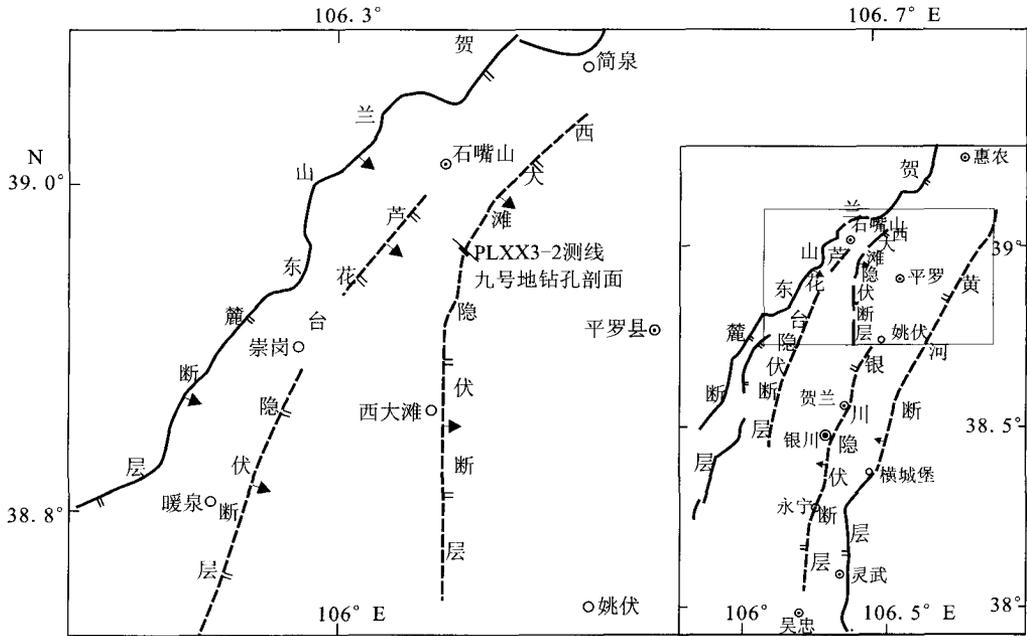


图 1 西大滩隐伏断层展布及钻孔剖面位置图

Fig. 1 The distribution map of Xidatan buried fault and the position of drilling section.

1 钻孔联合剖面探测结果

1.1 剖面布设概况

剖面位于石嘴山市大武口区隆湖镇六站九号地村附近,以 122°方向布设于浅层地震测线 PLXX3-2(2 m 道间距)之北 10 m 处,两者平行。测线 PLXX3-2 解释的断层上断点在桩号 1 896 m,断层东倾,据此于桩号 1 921 m 处布设了孔 Z1-1 作为剖面之西端,于桩号 1 831 m 处布设孔 Z1-2 作为剖面之东端。剖面全长 90 m,由 8 个钻孔组成。钻进总进尺 550 m;单孔深度最大 82.75 m,最小 45.36 m;孔间距最大 45 m,最小 4.6 m(图 2)。

1.2 主要标志地层及断距

九号地钻孔联合剖面中揭示出 5 层连续分布的

粘性土地层(图 3),除地表粘性土层外,其它 4 层均可作为标志性地层,其特征及断距情况简述如下(表 1)。

标志层 B1:粘土,浅棕灰色、黑灰色,局部棕红色,上下地层均为细砂,特征明显,容易辨别。在 8 个

表 1 九号地钻孔联合剖面断层附近标志层断距表

编号	地层岩性	下盘(上升盘)		上盘(下降盘)		断距 /m
		埋深 /m	厚度/m	埋深 /m	厚度/m	
B1	粘砂土、砂粘土	顶界	7.95	顶界	8.00	0
		底界	9.75	底界	10.20	2.25
B2	粘砂土、砂粘土	顶界	11.90	顶界	12.50	0.60
		底界	22.32	底界	22.92	10.42
B3	粘砂土、砂粘土	顶界	39.98	顶界	40.88	0.90
		底界	43.36	底界	44.26	3.38
B4	粘砂土、砂粘土	顶界	55.93	顶界	57.13	1.20
		底界	71.41	底界	74.21	17.08

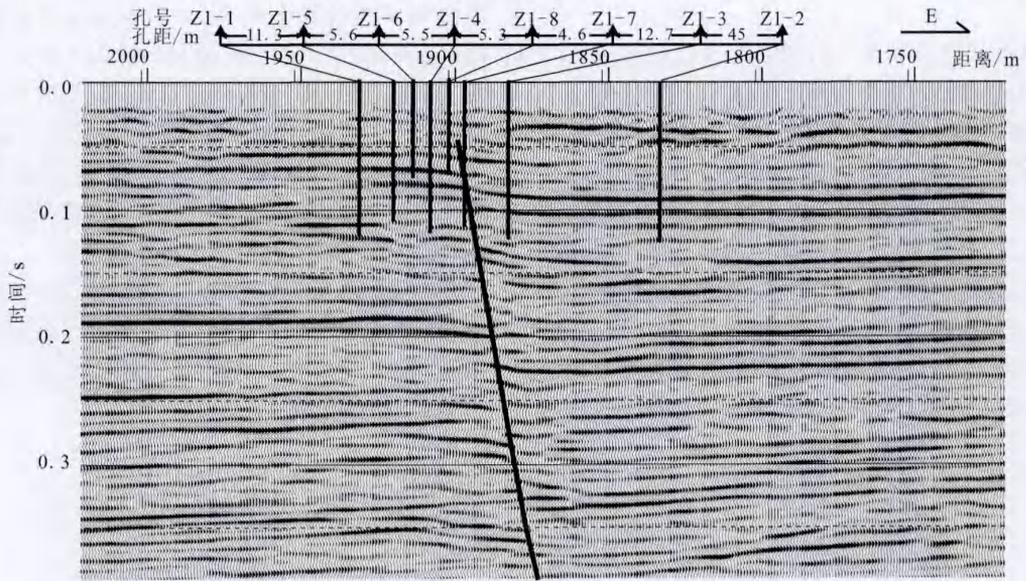


图2 九号地浅层地震勘探剖面与钻孔联合剖面钻孔布设

Fig. 2 The shallow seismic exploration section at Jiuhadi village and the position of boreholes as a composite drilling section.

钻孔中均有揭示。其顶面埋深约 8 m, 未见落差; 底面在断层下盘埋深约 9.75 m, 上盘为 10.20 m; 在断层附近下盘厚度约 1.80 m, 上盘厚度约 2.25 m, 底面断距为 0.45 m。

标志层 B2: 粘土、砂粘土及粘砂土, 偶夹细砂层, 上部呈灰黑色, 中下部以深灰色为主, 其上下均为纯净细砂。在断层附近该层在下盘顶底埋深分别为 11.90 m、22.32 m; 在上盘顶底埋深分别为 12.50 m、22.92 m; 在两盘层厚无显著差别, 约 10.42 m, 顶底断距相同, 为 0.60 m。

标志层 B3: 为灰黑色粘土、砂粘土。该层在下盘顶底埋深分别为 39.98 m、43.36 m; 在上盘顶底埋深分别为 40.88 m、44.26 m; 在两盘层厚相同, 约 3.38 m, 顶底面断距同为 0.90 m。

标志层 B4: 粘土、砂粘土及粘砂土互层, 颜色以深灰色为主, 局部棕灰、灰黑色。在断层附近顶埋深在下盘为 55.93 m、71.41 m, 厚 15.48 m; 在上盘为 57.13 m、74.21 m, 厚 17.08 m; 顶底面断距分别为 1.20 m 和 2.80 m。

1.3 断层定位结果

根据上述标志层分布及断距情况分析, 运用钻孔联合剖面对折法^[10], 确定断层位置应该同时满足三个条件: (1) 断层在孔 Z1-4 和 Z1-8 间错断标志层 B1 底界和标志层 B2 顶界; (2) 断层在孔 Z1-7 和 Z1-8 间错断标志层 B2 底界、标志层 B3 顶底界以及标志层 B4 顶界; (3) 断层在孔 Z1-3 和 Z1-7

间错断标志层 B4 底界。

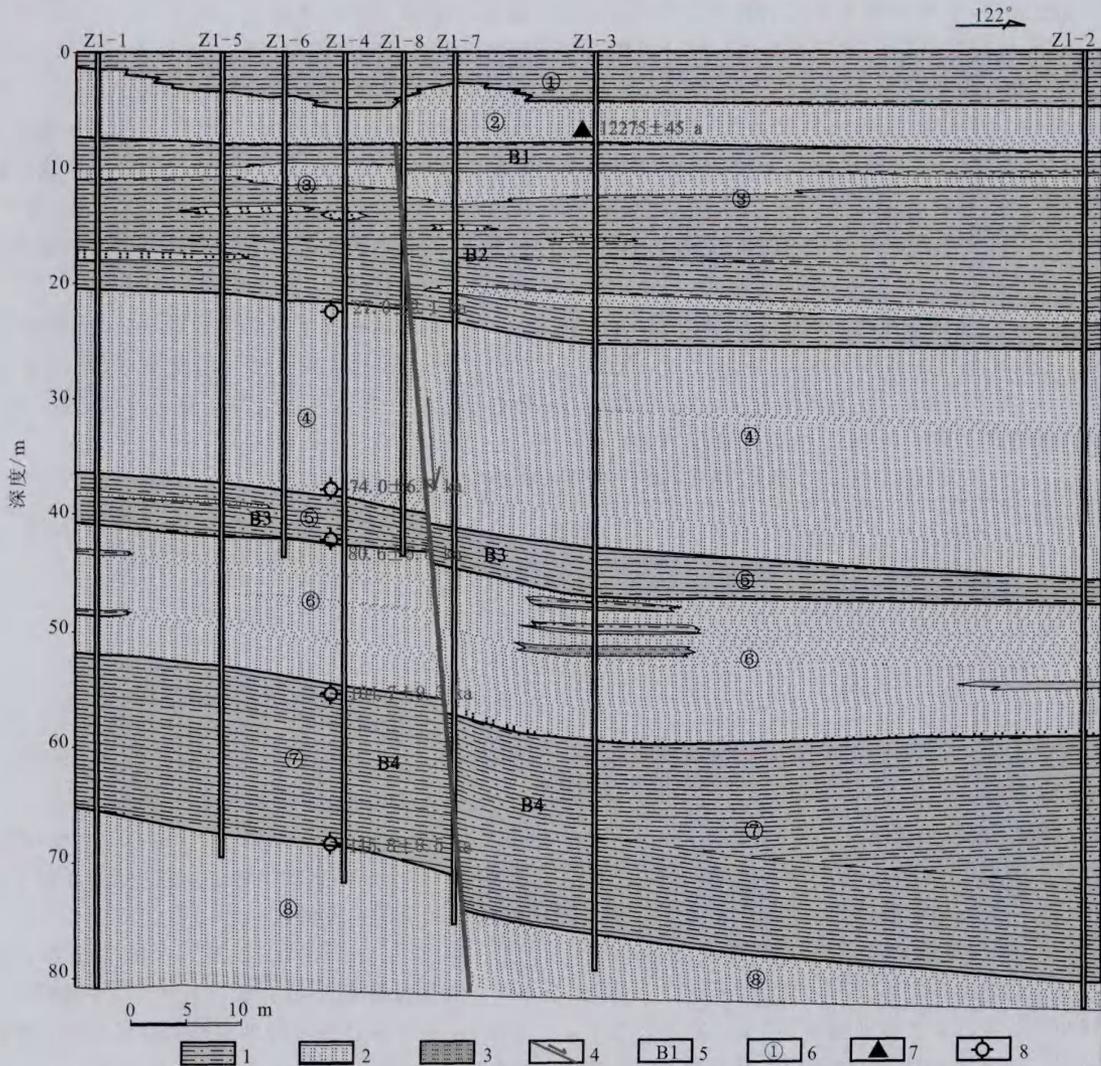
由此可在 1:100 地质剖面图中画出断层位置, 得到断层视倾角为 $83^{\circ} \pm 2^{\circ}$, 向 E 倾, 断层上断点埋深接近标志层 B1 顶界埋深, 约为 8 m。将此上断点垂直投影于地表, 位于浅层地震勘探测线 PLXX3-2 桩号 1894 m 处, 相对浅层地震勘探给出的上断点垂直投影(1896 m)相差 2 m。

2 断层晚第四纪活动特征

2.1 标志层沉积年龄

为了确定断层最新活动时代以及标志层的沉积年龄, 在孔 Z1-4 和 Z1-3 中采集 ^{14}C 样品和光释光样品。从样品分布看(图 3、表 2), 除标志层 B1 底面和 B2 顶面之外其它标志层位附近均有相应测试结果控制其沉积年龄, 因样品位置和标志层位两者间差距甚微, 考虑目前地层年龄样品测试的误差, 这里认为和一些标志层位相近的地层年龄就为该层位的沉积年龄, 不再另行处理。为便于估算断层不同时间段的滑动速率, 根据孔 Z1-3 埋深 6.85 m 和孔 Z1-4 埋深 22.4 m 两处的地层年龄数据, 求得该埋深区段地层平均沉积速率为 $1.06 \pm 0.15 \text{ mm/a}$, 并假设该埋深区段地层连续沉积, 由此估算得标志层 B1 底面(埋深 9.72 m)和 B2 顶面(埋深 11.53 m)的沉积年龄。

因此, 标志层 B1 底面沉积年龄为 $15.0 \pm 2.7 \text{ ka B.P.}$, 标志层 B2 沉积年龄为 $27.0 \pm 2.1 \sim 16.8 \pm$



1. 砂粘土及粘砂土; 2. 细砂; 3. 中砂; 4. 断层; 5. 标志层编号; 6. 地层编号; 7. 碳14样品; 8. 释光样品;
 ①粘砂土、砂粘土层夹细砂, 粘砂土颜色多为土黄、浅黄色、砂粘土则多呈浅棕红色; ②浅灰、浅黄灰色细砂; ③粘土、砂粘土及粘砂土, 夹细砂, 呈黑灰、浅黄、深灰、浅棕色; ④灰、深灰色细砂、中细砂; ⑤灰、深灰、黑灰色粘土、粘砂土; ⑥灰、深灰、黑灰色细砂, 夹粘土透镜体; ⑦灰、深灰、灰黑、浅棕红色粘土、粘砂土、粘砂土互层; ⑧灰、深灰色细砂、粉细砂。

图3 九号地钻孔联合探测地质剖面图

Fig. 3 The composite drilling geological section at Jiuhadi village.

表2 钻孔样品年龄测试结果

钻孔编号	测试类型	样品埋深/m	距今年龄	所处构造位置	同孔中标志层位/[埋深·m ⁻¹]
Z1-3	¹⁴ C	6.85	12 275±45 a	上覆层	B1 顶/8.23
		22.4	27.0±2.1 ka	断层下盘	B2 底/21.76
		37.76	74.0±6.8 ka	断层下盘	B3 顶/38.74
Z1-4	释光	42.14	80.6±5.8 ka	断层下盘	B3 底/42.84
		55.45	104.7±9.3 ka	断层下盘	B4 顶/55.08
		68.73	115.8±8.5 ka	断层下盘	B4 底/69.20

注: 表中释光样品年龄由中科院地球环境研究所测试;¹⁴C 样品由北京大学考古文博学院测试。

2.6 ka B. P. 间, 标志层 B3 沉积年龄为 80.6±5.8 ka~74.0±6.8 ka B. P. 间, 标志层 B4 沉积年龄为 115.8±8.5 ka~104.7±9.3 ka B. P. 间。

2.2 断层最新活动时代及滑动速率

前已述及,上断点埋深不小于标志层 B1 之顶界(约 8 m),被层②覆盖,表明该断层在层②沉积以来没有发生明显断错活动。钻孔 Z1-3 层②中埋深 6.85 m 处¹⁴C 样品测试结果为 $12\,275 \pm 45$ a B. P.,据此判断西大滩隐伏断层自 $12\,275 \pm 45$ a 以来没有发生明显活动,鉴定为晚更新世末活动断层。

标志层位的断距是断层在该层位沉积以来累计位移大小的反映,结合标志层的沉积年龄,可以估算断层不同时期的滑动速率。由表 1 和 2 可知,标志层 B4 底界沉积年龄为 115.8 ± 8.5 ka B. P.,断距为 2.8 m,考虑标志层 B4 顶界落差小于该值,因此认为该断距即为 115.8 ± 8.5 ka 以来断层的累计位

移,从而估算得滑动速率为 0.024 mm/a,也即晚更新世以来的滑动速率。在银川盆地内,贺兰山东麓断裂全新世滑动速率为 $1.12 \sim 2.1$ mm/a^[10,15],黄河断层全新世滑动速率为 0.24^[16],银川隐伏断层晚更新世末以来滑动速率为 0.14 mm/a^[7],芦花台隐伏断层全新世滑动速率为 0.073~0.18 mm/a^[19]。可见,相对其它断层而言,西大滩隐伏断层在规模和活动强度上均偏弱。

同时,为了对比研究晚更新世不同时期断层活动的强弱,根据标志层沉积年龄情况对断层不同时段位移进行分解,估算得不同时期的滑动速率,见表 3。

表 3 晚更新世不同时期断层滑动速率和地层倾斜

层段	沉积时段/a BP	时段长/a	断层断错		地层倾斜	
			位移/m	滑动速率/[mm·a ⁻¹]	下盘	上盘
B1 顶面之上	12 275±45 以来	12 275	0	0	0°	0°
B1 顶—B1 底	15 000±2 700~12 275±45	2 725	0.45	0.165	0°	0°
B1 底—B2 顶	16 800±2 600~15 000±2 700	1 800	0.15	0.083	3°	6°
B2 顶—B2 底	27 000±2 100~16 800±2 600	10 200	0	0	2°	2°
B2 底—B3 顶	74 000±6 800~27 000±2 100	47 000	0.3	0.006	0°	0°
B3 顶—B3 底	80 600±5 800~74 000±6 800	6 600	0	0	0°	0°
B3 底—B4 顶	104 700±9 300~80 600±5 800	24 100	0.3	0.012	3°	3°
B4 顶—B4 底	115 800±8 500~104 700±9 300	11 100	1.6	0.144	0°	0°

2.3 断层活动和地层倾斜变形

从图 3 和图 4 知,在断层附近,九号地剖面中标志地层发生了较显著的倾斜变形,且表现出明显的生长特征,即埋深越大,地层倾斜越显著;断层下盘地层在剖面范围内大部分发生倾斜,而断层上盘地层仅在断层附近发生倾斜变形,且变形幅度大于下盘地层。结合表 3 不同时期断层位移及滑动速率变化情况,初步认为该剖面中地层倾斜变形和断层活动经历了若干阶段:

(1) 115.8 ± 8.5 ka B. P. ~ 104.7 ± 9.3 ka B. P.: 地层没有发生倾斜变形,只发生断层活动,在此期间累计位移 1.6 m,断层平均滑动速率 0.144 mm/a,断层活动和地层沉积同时发生,使标志层 B4 显示较明显的生长特征。

(2) 104.7 ± 9.3 ka B. P. ~ 80.6 ± 5.8 ka B. P.: 断层活动和地层倾斜变形并存,断层活动较弱,累计位移 0.3 m,滑动速率 0.012 mm/a,断层附近地层发生了 3°的倾斜变形,因断层活动和地层倾斜变形均较弱,层⑥的生长特征不甚明显。

(3) 80.6 ± 5.8 ka B. P. ~ 74.0 ± 6.8 ka B. P.: 断层活动和地层倾斜变形均未发生,正常沉积了层⑤。

(4) 74.0 ± 6.8 ka B. P. ~ 27.0 ± 2.1 ka

B. P.: 断层发生微弱的活动,累计位移 0.3 m,滑动速率 0.006 mm/a,未发生地层倾斜变形,沉积了层④,显示较弱的生长特性。

(5) 27.0 ± 2.1 ka B. P. ~ 16.8 ± 2.6 ka B. P.: 断层没有活动,地层累计发生了 2°的倾斜,标志层 B4 的生长特征表明地层倾斜变形是伴随着地层沉积而形成。

(6) 16.8 ± 2.6 ka B. P. ~ 15.0 ± 2.7 ka B. P.: 断层活动和地层倾斜并存,断层累计位移 0.15 m,滑动速率 0.083 mm/a,地层倾斜程度在断层两盘不一致,下盘较弱,约 3°,上盘较强,且发生于断层附近,约 6°。

(7) $15\,000 \pm 2\,700$ a B. P. ~ $12\,275 \pm 45$ a B. P.: 地层未发生倾斜变形,以断层活动为主,断层累计位移 0.45 m,滑动速率为 0.165 mm/a。

(8) $12\,275 \pm 45$ a B. P. 以来: 断层活动和地层倾斜变形均未发生。

综上所述,不论是地层倾斜还是断层活动均具有间歇性,均可分辨出 3 次间歇期。断层活动间隔时长依次为 6 600 a、10 200 a、12 275 a,地层倾斜变形间隔时长分别为 11 100 ka、53 600 a、15 000 a。但若将两者统一考虑,自晚更新世以来,存在 2 次构造间歇期和 2 次构造活跃期: 最早一次构造活跃期

可能于 115.8 ± 8.5 ka B. P. $\sim 80.6 \pm 5.8$ ka B. P. 间,之后进入至少 6.6 ka 长的第一次间歇期;第二次活跃期约 74.0 ± 6.8 ka B. P. $\sim 12\ 275 \pm 45$ a B. P. 间,经历一较完整的活跃期,首先以断层活动开始,接着地层发生倾斜,之后断层活动和地层倾斜并发,最后以断层活动为结束,进入第二次间歇期(12 275 a B. P. 至今)。两次构造间歇期最小间隔至少为 6.6 ka,最大间隔期至少为 12 275 a。

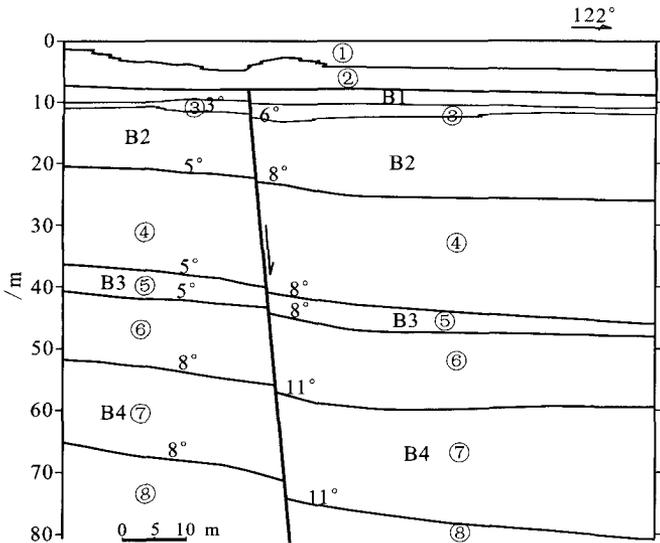


图4 九号地钻孔联合地质剖面断层附近地层倾斜变形

Fig. 4 The dip angles of key mark layers near the fault in Jiuhaodi composite drilling section.

3 结论与讨论

(1) 西大滩隐伏断层上断点埋深不小于 8 m,自 $12\ 275 \pm 45$ a 以来没有发生明显活动,属晚更新世末活动断层。相对银川盆地其它活动断层而言,该断层活动偏弱,晚更新世以来断层累计位移 2.8 m,滑动速率为 0.024 mm/a。

(2) 断层具有间歇性活动的特点,在晚更新世至少存在 3 次的间歇期,间隔时长依次为 6 600 a、10 200 a、12 275 a;除断层活动之外,断层附近地层发生了明显的倾斜变形,同样具有间歇性,晚更新世以来至少有 3 次间歇期,间隔时长分别为 11 100 ka、53 600 a、15 000 a。

(3) 若将断层活动和地层倾斜变形统一起来,自晚更新世以来,存在 2 次构造间歇期和 2 次构造活跃期:最早一次构造活跃期可能于 115.8 ± 8.5 ka B. P. $\sim 80.6 \pm 5.8$ ka B. P. 间,之后进入至少 6.6 ka 长的第一次间歇期;第二次活跃期约 74.0 ± 6.8 ka

B. P. $\sim 12\ 275 \pm 45$ a B. P. 间,表现为首先以断层活动开始,接着地层发生倾斜,之后断层活动和地层倾斜并发,最后以断层活动为结束,进入第二次间歇期(12 275 a B. P. 至今)。两次构造间歇期最小间隔至少为 6.6 ka,最大间隔期至少为 12 275 a。

(4) 以上结论是建立在标志层位断距和层面倾角变化分析的基础上,限于标志层的分布,尚不足以全面的反应该剖面地层变形和断层活动的信息,也难以反应出断层蠕滑和地层变形是否长期缓慢进行的证据。因此对所谓的活跃期的划分有可能明显夸大,相应的间歇期则可能偏小,而且一次活跃期中可能也存在若干次级间歇期。因此,所划分的间歇期次数及间隔期是粗略的,但应当是最少次数及至少间隔期,对认识该断层的构造演化和活动特征仍有意义。

[参考文献]

- [1] 邓起东. 城市活断层探测和地震危险性评价问题[J]. 地震地质, 2002, 24(4): 601-605.
- [2] 邓起东, 徐锡伟, 张先康, 等. 城市活断层探测的方法和技术[J]. 地质前缘, 2003, 10(1): 150-162.
- [3] 汪一鹏. 关于城市活断层探测与地震危险性评价工作大纲(试行)的几点认识[J]. 地震地质, 2004, 26(4): 559-565.
- [4] 方盛明, 张先康, 刘宝金, 等. 探测大城市活断层的地球物理理论方法[J]. 地震地质, 2002, 24(4): 606-613.
- [5] 中国地震局. 中国地震活动断层探测技术系统技术规程[S]. 北京: 地震出版社, 2005.
- [6] 柴炽章, 孟广魁, 杜鹏, 等. 隐伏活动断层的多层次综合探测——以银川隐伏活动断层为例[J]. 地震地质, 2006, 28(4): 536-544.
- [7] 雷启云, 柴炽章, 孟广魁, 等. 银川隐伏断层钻孔联合剖面探测[J]. 地震地质, 2008, 30(01): 250-262.
- [8] 徐锡伟, 计凤桔, 于贵华, 等. 用钻孔地层剖面记录恢复古地震序列: 河北夏垫断裂古地震研究[J]. 地震地质, 2000, 22(1): 9-19.
- [9] 张世民, 王丹丹, 刘旭东, 等. 北京南口—孙河断裂晚第四纪古地震事件的钻孔剖面对比与分析[J]. 中国科学(D辑), 2008, 38(7): 881-895.
- [10] 国家地震局鄂尔多斯周缘活动断裂系课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京: 地震出版社, 1998.
- [11] 张冬丽, 周正华, 陶夏新. 震源破裂方式和断层性质对近场强地震动特征的影响[J]. 西北地震学报, 2009, 31(4): 311-318.
- [12] 邓起东, 汪一鹏, 廖玉华, 等. 断层崖崩积楔及贺山山前断裂全新世活动历史[J]. 科学通报, 1984, 29(9): 557-560.
- [13] 邓起东, 尤惠川. 断层崖研究与地震危险性估计——以贺兰山东麓断层崖为例[J]. 西北地震学报, 1985, 7(1): 30-37.

站,采用CAP方法^[1-3]反演了本次地震的震源机制,见表1和图1、图2,本次地震是一次以走滑为主兼有逆冲分量的地震事件。

表1 $M_s 4.9$ 地震的震源参数

最佳 双力 偶解	节面 I			节面 II		
	走向/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	滑动角/ $^{\circ}$	走向/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	滑动角/ $^{\circ}$
	263	63	39	153	56	147
应力 轴	T 轴		B 轴		P 轴	
	方位角/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	方位角/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	方位角/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$
	121	46	292	44	262	4

[参考文献]

- [1] Zhao L S, Helmberger D V. Source estimation from broadband regional seismograms[J]. Bull. Seis. Soc. Amer., 1994, 84(1):91-104.
- [2] Zhu L, Helmberger D V. Advancement in Source Estimation Techniques Using Broadband Regional Seismograms[J]. Bull Seism. Soc. Am., 1996, 86:1634-1641.
- [3] Tan Ying, Zhu L, Helmberger D V, et al. Locating and modeling regional earthquakes with two stations[J]. J. Geophys. Res., 2006, 11(B01):306-314.

(上接 191 页)

- [14] Zhang Buchun, Liao YuHua, Guo ShunMin, et al. Fault scarps related to the 1739 earthquake and seismicity of the YinChuan graben, Ningxia Huizuzhiqu, China[J]. Bulletin of the Seismological of America, 1986, (5):76.
- [15] Deng Qidong, Liao Yuha. Paleoseismology along the range-front fault of Helan Mountains, North Central China[J]. Journal of Geophysical Research, 1996, 101 (B3): 5873-5894.
- [16] 廖玉华, 柴炽章, 张文孝, 等. 灵武断裂晚第四纪活动特征及位移速率[J]. 中国地震, 2000, (02):158-165.
- [17] 白铭学, 焦德成. 1739年银川—平罗8级地震灾害的历史辨析[J]. 西北地震学报, 2005, 27(2):135-140.
- [18] 杜鹏, 柴炽章, 廖玉华, 等. 贺兰山东麓断裂南段套门沟—榆树沟段全新世活动与古地震[J]. 地震地质, 2009, 32(2):256-264.
- [19] 雷启云, 柴炽章, 杜鹏, 等. 基于钻探的芦花台隐伏断层晚第四纪活动特征研究[J]. 地震地质(待刊).